

JP 00/02611
日 本 国 特 許 庁PATENT OFFICE
JAPANESE GOVERNMENT

REC'D 27 JUL 2000

WIPO

PCT

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日

Date of Application:

1999年 4月22日

出 願 番 号

Application Number:

平成11年特許願第115144号

出 願 人

Applicant (s):

日本電信電話株式会社

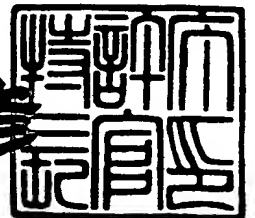
09/787927

PRIORITY
DOCUMENTSUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

2000年 6月29日

特許庁長官
Commissioner,
Patent Office

近藤 隆彦



出証番号 出証特 2000-3049018

【書類名】 特許願

【整理番号】 NTTH107659

【提出日】 平成11年 4月22日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 H04J 11/00

【発明者】

【住所又は居所】 東京都新宿区西新宿三丁目 1 9 番 2 号 日本電信電話株式会社内

【氏名】 熊谷 智明

【発明者】

【住所又は居所】 東京都新宿区西新宿三丁目 1 9 番 2 号 日本電信電話株式会社内

【氏名】 溝口 匡人

【発明者】

【住所又は居所】 東京都新宿区西新宿三丁目 1 9 番 2 号 日本電信電話株式会社内

【氏名】 守倉 正博

【特許出願人】

【識別番号】 000004226

【氏名又は名称】 日本電信電話株式会社

【代理人】

【識別番号】 100072718

【弁理士】

【氏名又は名称】 古谷 史旺

【電話番号】 3343-2901

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 013354

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9701422

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 OFDM復調装置

【特許請求の範囲】

【請求項1】 OFDM信号を受信して所定の受信処理を行う受信手段と、前記受信手段が出力する受信信号に対してタイミング同期処理および搬送波周波数同期処理を行い同期後の信号および搬送波周波数誤差情報を出力する同期処理手段と、前記同期処理手段によってタイミング同期処理および搬送波周波数同期処理された信号をフーリエ変換を用いて各サブキャリア毎の信号に分離するフーリエ変換手段とを備えるOFDM復調装置において、

前記フーリエ変換手段によって分離された各サブキャリア信号を用いてチャネル特性の推定を行うチャネル推定手段と、

前記チャネル推定手段によって得られたチャネル特性の推定結果を用いて前記フーリエ変換手段によって分離されたサブキャリア信号に対し等化处理および同期検波処理を行い検波信号を出力する同期検波手段と、

前記同期検波手段から出力される検波信号の全てあるいは一部の検波信号の残留搬送波周波数誤差による位相回転量を検出し、残留搬送波周波数誤差情報を生成する残留搬送波周波数誤差推定手段と、

前記同期処理手段から出力される搬送波周波数誤差情報と前記残留搬送波周波数誤差推定手段から出力される残留搬送波周波数誤差情報とに基づいて、前記同期検波手段から出力される検波信号のクロック周波数誤差による位相回転量を予測し位相回転情報を生成する位相回転予測手段と、

前記位相回転予測手段から出力される位相回転情報に基づいて、前記同期検波手段から出力される検波信号に対しクロック周波数誤差により生じる位相回転を補正する位相回転補正手段と

を設けたことを特徴とするOFDM復調装置。

【請求項2】 請求項1のOFDM復調装置において、前記残留搬送波周波数誤差推定手段が、前記チャネル推定手段によって推定されたチャネル特性から得られる各サブキャリア信号の品質情報に基づいて、前記同期検波手段から出力される検波信号の全てあるいは一部分の検波信号を重み付けするとともに、時間

方向に検波信号の平滑化を行い、重み付けおよび平滑化された検波信号に基づいて残留搬送波周波数誤差による位相回転量を検出することを特徴とする OFDM 復調装置。

【請求項 3】 請求項 1 の OFDM 復調装置において、前記残留搬送波周波数誤差推定手段が、前記同期検波手段から出力される検波信号のうちパイロット信号に相当する信号成分に基づいて残留搬送波周波数誤差による位相回転量を検出することを特徴とする OFDM 復調装置。

【請求項 4】 請求項 1 の OFDM 復調装置において、前記残留搬送波周波数誤差推定手段が、前記同期検波手段から出力される検波信号のうちパイロット信号に相当する信号成分を、前記チャネル推定手段によって推定されたチャネル特性から得られる各サブキャリア信号の品質情報に基づいて重み付けするとともに、時間方向に検波信号の平滑化を行い、重み付けおよび平滑化された検波信号に基づいて残留搬送波周波数誤差による位相回転量を検出することを特徴とする OFDM 復調装置。

【請求項 5】 OFDM 信号を受信して所定の受信処理を行う受信手段と、前記受信手段が出力する受信信号に対してタイミング同期処理および搬送波周波数同期処理を行い同期後の信号および搬送波周波数誤差情報を出力する同期処理手段と、前記同期処理手段によってタイミング同期処理および搬送波周波数同期処理された信号をフーリエ変換を用いて各サブキャリア毎の信号に分離するフーリエ変換手段とを備える OFDM 復調装置において、

前記フーリエ変換手段によって分離された各サブキャリア信号を用いてチャネル特性の推定を行うチャネル推定手段と、

前記チャネル推定手段から得られるチャネル特性の推定結果を用いて、前記フーリエ変換手段により分離されたサブキャリア信号に対し等化処理および同期検波処理を行い検波信号を出力する同期検波手段と、

前記同期処理手段から出力される搬送波周波数誤差情報を用いて各サブキャリア信号のクロック周波数誤差による位相回転を予測し位相回転情報を生成する第 1 の位相回転予測手段と、

前記第 1 の位相回転予測手段から出力される位相回転情報を用いて前記同期検

波手段から出力される検波信号に対しクロック周波数誤差により生じる位相回転を補正する第 1 の位相回転補正手段と、

前記第 1 の位相回転補正手段から出力される位相回転補正後の信号の全てあるいは一部の検波信号の残留搬送波周波数誤差による位相回転量を検出し残留搬送波周波数誤差情報を生成する残留搬送波周波数誤差推定手段と、

前記残留搬送波周波数誤差推定手段から出力される残留搬送波周波数誤差情報を用いて前記第 1 の位相回転補正手段から出力される検波信号のクロック周波数誤差による残留位相回転量を予測し残留位相回転情報を生成する第 2 の位相回転予測手段と、

前記第 2 の位相回転予測手段から出力される残留位相回転情報を用いて前記第 1 の位相回転補正手段から出力される位相回転補正後の信号に対しクロック周波数誤差により生じる残留位相回転を補正する第 2 の位相回転補正手段と

を設けたことを特徴とする OFDM 復調装置。

【請求項 6】 請求項 5 の OFDM 復調装置において、前記残留搬送波周波数誤差推定手段が、前記チャネル推定手段が推定したチャネル特性から得られる各サブキャリア信号の品質情報に基づいて、前記第 1 の位相回転補正手段から出力される位相回転補正後の検波信号の全てあるいは一部の検波信号を重み付けするとともに、時間方向に検波信号の平滑化を行い、重み付けおよび平滑化された検波信号から残留搬送波周波数誤差による位相回転量を検出することを特徴とする OFDM 復調装置。

【請求項 7】 請求項 5 の OFDM 復調装置において、前記残留搬送波周波数誤差推定手段が、前記第 1 の位相回転補正手段から出力される位相回転補正後の検波信号のうち、パイロット信号に相当する信号成分に基づいて残留搬送波周波数誤差による位相回転量を検出することを特徴とする OFDM 復調装置。

【請求項 8】 請求項 5 の OFDM 復調装置において、前記残留搬送波周波数誤差推定手段が、前記第 1 の位相回転補正手段から出力される位相回転補正後の検波信号のうち、パイロット信号に相当する信号成分を、前記チャネル推定手段が推定したチャネル特性から得られる各サブキャリア信号の品質情報に基づいて重み付けするとともに、時間方向に検波信号の平滑化を行い、重み付けおよび

平滑化された検波信号に基づいて残留搬送波周波数誤差による位相回転量を検出することを特徴とする OFDM 復調装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、直交周波数分割多重 (Orthogonal Frequency Division Multiplexing: OFDM) 方式のデジタル無線通信システムに用いられる OFDM 復調装置に関し、特に、送信装置の搬送波周波数とサンプリングクロック周波数とが同期している場合にクロック周波数誤差に起因する劣化を高精度に補償する OFDM 復調装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

OFDM 方式のデジタル無線通信システムのようなマルチキャリアシステムでは、互いに周波数の異なる複数のサブキャリアを同時に使用して情報を伝送する。従って、受信側では一般に高速フーリエ変換 (FFT) を用いて受信した OFDM 信号から各サブキャリアの信号成分を分離する。

【0003】

また、OFDM 方式では送信する各シンボルの間にガードインターバルを設ける。このガードインターバルでは、送信する各シンボルのデータ部分を循環的に拡張した信号を送信することができる。

データ部分を循環的に拡張した信号をガードインターバルで送信することにより、受信した OFDM 信号のタイミングと受信側のシンボルタイミング (FFT ウィンドウタイミング) とが多少ずれている場合であっても、ずれの大きさがガードインターバル内に収まる程度であれば、隣接シンボルからの干渉を受けずに受信信号を復調することができる。

【0004】

また、ガードインターバルを設けることにより、反射波などの遅延波の影響を受けるマルチパス環境においても、遅延波による符号間干渉を回避することができる。

従来例のOFDM復調装置について、図11を参照して説明する。なお、この例では図10に示すバーストフォーマットのOFDM信号を送受信する場合を想定している。

【0005】

図11において、アンテナ51で受信されたOFDM信号は、受信回路52に入力される。受信回路52は入力されたOFDM信号に対し、周波数変換、フィルタリング、直交検波等の受信処理を行い受信信号を複素ベースバンド信号として出力する。受信回路52から出力される複素ベースバンド信号は、同期処理回路53に入力される。

【0006】

同期処理回路53は、入力される複素ベースバンド信号に含まれる同期用プリアンプル信号を用いて、搬送波周波数誤差およびシンボルタイミングを検出する。また、検出した搬送波周波数誤差の情報を用いて受信処理後の複素ベースバンド信号に対して搬送波周波数誤差補正処理を行い、補正された複素ベースバンド信号を出力する。また、検出されたシンボルタイミングの情報は同期処理回路53から出力される。

【0007】

シンボルタイミングの検出は、複素ベースバンド信号からガードインターバルを除去しフーリエ変換回路に入力すべき信号だけを抽出するために必要になる。同期処理回路53から出力される搬送波周波数誤差補正処理後の複素ベースバンド信号およびシンボルタイミング情報の信号がガードインターバル除去回路54に入力される。

【0008】

ガードインターバル除去回路54は、入力されるシンボルタイミング情報に従い、入力される搬送波周波数誤差補正処理後の複素ベースバンド信号に対して、1 OFDMシンボル毎に1 OFDMシンボル長からガードインターバルに相当する信号を抜いた時間幅のFFTウインドウ処理を施す。

すなわち、ガードインターバルに相当する信号を除去し、フーリエ変換回路55に入力すべき有効な信号成分だけを抽出し出力する。ガードインターバルが除

去された複素ベースバンド信号がガードインターバル除去回路 5 4 から出力され、フーリエ変換回路 5 5 に入力される。

【0 0 0 9】

フーリエ変換回路 5 5 は、入力される複素ベースバンド信号を 1 O F D M シンボル毎に高速フーリエ変換処理する。高速フーリエ変換処理の結果、サブキャリア毎に分離された信号がフーリエ変換回路 5 5 から出力される。フーリエ変換回路 5 5 が出力するサブキャリア毎の各信号は、同期検波回路 5 7 およびチャネル推定回路 5 6 にそれぞれ入力される。

【0 0 1 0】

チャネル推定回路 5 6 は、入力される各サブキャリアの信号のうち、チャネル推定用プリアンプル信号に相当する信号を用いて、受信した O F D M 信号が通ってきた伝送路（チャネル）の状態を推定し、推定されたチャネル推定結果を出力する。

このチャネル推定結果からは、例えば、各々のサブキャリアの振幅や位相がフェージングによってどのような影響を受けているかを知ることができる。チャネル推定回路 5 6 から出力されるチャネル推定結果は同期検波回路 5 7 に入力される。

【0 0 1 1】

同期検波回路 5 7 は、チャネル推定回路 5 6 から入力されるチャネル推定結果を用いて、各サブキャリアの信号成分毎にフェージング等のチャネル特性に起因する振幅変動および位相回転を補正するとともに同期検波を行う。同期検波によって検波された信号が同期検波回路 5 7 から出力される。

識別回路 6 0 は、同期検波回路 5 7 が出力する検波信号を入力し、検波信号に含まれるデータ信号に対してシンボル判定を行い、判定結果を出力する。

【0 0 1 2】

【発明が解決しようとする課題】

前述のように、O F D M バースト信号を同期検波する場合には、O F D M バースト信号の先頭に設けられる同期用プリアンプル信号を用いて、搬送波周波数誤差およびシンボルタイミングを検出する。また、検出された搬送波周波数誤差お

よびシンボルタイミングに基づいて、搬送波の周波数誤差を補正するとともに、1 OFDMシンボル毎にFFTウィンドウ処理によりガードインターバルを除去する。更に、チャネル推定用プリアンブル信号を用いてチャネル情報を検出し、その検出結果に基づいてデータ部分の信号の振幅および位相の変化を検出し、各サブキャリア毎に同期検波を行う。

【0013】

ところで、送信側装置の搬送波周波数と受信側装置の搬送波周波数との間にずれがある場合には、従来の装置でも受信側装置の同期処理回路において搬送波周波数を補正することができる。しかしながら、信号のサンプリングなどに用いられるクロック信号の周波数については、送信側装置の周波数と受信側装置の周波数との間のずれを補正することができない。

【0014】

送信側装置のクロック周波数と受信側装置のクロック周波数との間にずれがある場合、受信側装置がバーストの先頭で検出したシンボルタイミングを利用してFFTウィンドウ処理を施す場合に、バースト中のOFDMシンボルの時間的位置に応じて各OFDMシンボル毎にFFTウィンドウタイミングにずれが生じることになる。

【0015】

従って、チャネル推定の対象になるバースト先頭部分でのFFTウィンドウのタイミングと、それ以外のバースト部分のFFTウィンドウのタイミングとの間にずれが生じることになる。ずれの大きさは、バーストの後ろに行くほど大きくなる。

このようなFFTウィンドウタイミングのずれは、フーリエ変換の基本的性質上、周波数の違いに応じて異なる位相回転となって現れる。つまり、クロック周波数のずれによって各サブキャリア毎に異なる位相回転が加わる。

【0016】

また、時間の経過に比例してFFTウィンドウのタイミングのずれも大きくなるため、時間の経過とともにそれら位相回転の累積量が増加する。

送信側装置のクロック周波数と受信側装置のクロック周波数との間にずれがあ

る場合、それによって生じる受信 OFDM 信号の各サブキャリアの位相回転量 $\Delta\theta$ は次式で表される。

【0017】

$$\Delta\theta \cong 2\pi \cdot f \cdot t \cdot \Delta f_{\text{clk}} / f_{\text{clk}} \quad \dots (1)$$

f : 中心周波数からの当該サブキャリアの周波数オフセット量

t : チャネル推定時からの当該 OFDM シンボルの時間経過量

Δf_{clk} : 送受間のサンプリングクロック周波数ずれの量

f_{clk} : サンプリングクロック周波数 (規格値)

すなわち、クロック周波数誤差による位相回転量は、チャネル推定時からの時間経過量および中心周波数からの周波数オフセット量に比例して増大する。従って、送信側装置のクロック周波数と受信側装置のクロック周波数との間にずれがある場合、なにも補正をせずに同期検波を行うと前述の位相回転によって受信側で各サブキャリア信号の正しい位相が検出できなくなるため、極めて大きな劣化を生じる。

【0018】

このようなクロック周波数のずれについては、搬送波周波数のずれのように同期処理回路における簡単なデジタル処理で補正することはできない。従って、従来の OFDM 復調装置でクロック周波数のずれを補正する場合、受信側の各回路で共通に使用される基準クロック周波数をアナログ処理によって直接制御しなければならず、非常に構成の複雑な補正回路を設ける必要があった。

【0019】

本発明は、上述のような OFDM 復調装置において、送信側装置のクロック周波数と受信側装置のクロック周波数との間にずれが存在する場合に受信側で復調される信号の劣化を抑制するとともに回路構成の複雑化を回避することを目的とする。

【0020】

【課題を解決するための手段】

請求項 1 は、OFDM 信号を受信して所定の受信処理を行う受信手段と、前記受信手段が出力する受信信号に対してタイミング同期処理および搬送波周波数同

期処理を行い同期後の信号および搬送波周波数誤差情報を出力する同期処理手段と、前記同期処理手段によってタイミング同期処理および搬送波周波数同期処理された信号をフーリエ変換を用いて各サブキャリア毎の信号に分離するフーリエ変換手段とを備えるOFDM復調装置において、前記フーリエ変換手段によって分離された各サブキャリア信号を用いてチャネル特性の推定を行うチャネル推定手段と、前記チャネル推定手段によって得られたチャネル特性の推定結果を用いて前記フーリエ変換手段によって分離されたサブキャリア信号に対し等化処理および同期検波処理を行い検波信号を出力する同期検波手段と、前記同期検波手段から出力される検波信号の全てあるいは一部の検波信号の残留搬送波周波数誤差による位相回転量を検出し、残留搬送波周波数誤差情報を生成する残留搬送波周波数誤差推定手段と、前記同期処理手段から出力される搬送波周波数誤差情報と前記残留搬送波周波数誤差推定手段から出力される残留搬送波周波数誤差情報とに基づいて、前記同期検波手段から出力される検波信号のクロック周波数誤差による位相回転量を予測し位相回転情報を生成する位相回転予測手段と、前記位相回転予測手段から出力される位相回転情報に基づいて、前記同期検波手段から出力される検波信号に対しクロック周波数誤差により生じる位相回転を補正する位相回転補正手段とを設けたことを特徴とする。

【0021】

チャネル推定手段は、前記フーリエ変換手段によって分離された各サブキャリア信号を用いてチャネル特性の推定を行う。同期検波手段は、前記チャネル推定手段によって得られたチャネル特性の推定結果を用いて前記フーリエ変換手段によって分離されたサブキャリア信号に対し等化処理および同期検波処理を行う。

残留搬送波周波数誤差推定手段は、前記同期検波手段から出力される検波信号の全てあるいは一部の検波信号の残留搬送波周波数誤差による位相回転量を検出し、残留搬送波周波数誤差情報を生成する。

【0022】

位相回転予測手段は、前記同期処理手段から出力される搬送波周波数誤差情報と前記残留搬送波周波数誤差推定手段から出力される残留搬送波周波数誤差情報とに基づいて、前記同期検波手段から出力される検波信号のクロック周波数誤差

による位相回転量を予測する。

【0023】

請求項1においては、送信側の装置における搬送波周波数とサンプリングクロックの周波数とが同期し、かつ受信側の装置における搬送波周波数とサンプリングクロックの周波数とが同期していることを前提としている。この場合、次式が成立する。

$$\Delta f_{\text{clk}} / f_{\text{clk}} = \Delta f_{\text{RF}} / f_{\text{RF}} \quad \dots (2)$$

Δf_{RF} ：送受間の搬送波周波数ずれの量

f_{RF} ：搬送波周波数（規格値）

従って、前記第(1)式のサンプリングクロック周波数を搬送波周波数で置き換えれば、受信OFDM信号の各サブキャリアの位相回転量 $\Delta\theta$ は次式で表される。

【0024】

$$\Delta\theta \doteq 2\pi \cdot f \cdot t \cdot \Delta f_{\text{RF}} / f_{\text{RF}} \quad \dots (3)$$

つまり、位相回転予測手段は検出された搬送波周波数ずれの量に基づいて、第(3)式から各サブキャリアの位相回転量 $\Delta\theta$ を求めることができる。

位相回転補正手段は、前記位相回転予測手段から出力される位相回転情報に基づいて、前記同期検波手段から出力される検波信号に対しクロック周波数誤差により生じる位相回転を補正する。この補正により高精度なクロック周波数同期動作が実現されるので、送信側と受信側との間でクロック周波数にずれが存在する場合であっても復調データの品質劣化を避けることができる。

【0025】

また、このようなクロック周波数のずれに対する補正処理はデジタル処理で実現できるので、アナログ回路を用いる必要がなく、回路構成が複雑化するのを避けることができる。

請求項2は、請求項1のOFDM復調装置において、前記残留搬送波周波数誤差推定手段が、前記チャネル推定手段によって推定されたチャネル特性から得られる各サブキャリア信号の品質情報に基づいて、前記同期検波手段から出力される検波信号の全てあるいは一部分の検波信号を重み付けするとともに、時間方向

に検波信号の平滑化を行い、重み付けおよび平滑化された検波信号に基づいて残留搬送波周波数誤差による位相回転量を検出することを特徴とする。

【0026】

例えば、サブキャリア毎に通信品質が異なる場合には、通信品質が良好なサブキャリアの検波信号の重みを大きくした信号を処理することによって、フェージング等の影響を抑制し残留搬送波周波数誤差の検出精度を改善できる。また、時間方向に対して平滑化した検波信号を処理することによって、熱雑音等の影響を抑制できる。

【0027】

なお、クロック周波数誤差に起因する各サブキャリア信号の位相回転量を求める際には、同期処理手段で検出された搬送波周波数誤差と同期検波手段が出力する各サブキャリア信号から検出された残留搬送波周波数誤差との両方を同時に用いて演算してもよいし、搬送波周波数誤差による位相回転量と残留搬送波周波数誤差による位相回転量とを別々に演算してもよい。

【0028】

請求項3は、請求項1のOFDM復調装置において、前記残留搬送波周波数誤差推定手段が、前記同期検波手段から出力される検波信号のうちパイロット信号に相当する信号成分に基づいて残留搬送波周波数誤差による位相回転量を検出することを特徴とする。

OFDM信号の一部のサブキャリアを利用して既知信号であるパイロット信号を伝送することができる。受信したOFDM信号にパイロット信号が含まれている場合には、パイロット信号に相当する信号成分から残留搬送波周波数誤差を検出することにより、一部の検波信号だけを用いて効率的に残留搬送波周波数誤差を検出できるので、残留搬送波周波数誤差推定手段の回路構成を単純化できる。

【0029】

請求項4は、請求項1のOFDM復調装置において、前記残留搬送波周波数誤差推定手段が、前記同期検波手段から出力される検波信号のうちパイロット信号に相当する信号成分を、前記チャネル推定手段によって推定されたチャネル特性から得られる各サブキャリア信号の品質情報に基づいて重み付けするとともに、

時間方向に検波信号の平滑化を行い、重み付けおよび平滑化された検波信号に基づいて残留搬送波周波数誤差による位相回転量を検出することを特徴とする。

【0030】

通信品質が良好なサブキャリアの検波信号の重みを大きくした信号を処理することによって、フェージング等の影響を抑制し残留搬送波周波数誤差の検出精度を改善できる。また、時間方向に対して平滑化した検波信号を処理することによって、熱雑音等の影響を抑制できる。

更に、受信したOFDM信号にパイロット信号が含まれている場合には、パイロット信号に相当する信号成分から残留搬送波周波数誤差を検出することにより、一部の検波信号だけを用いて効率的に残留搬送波周波数誤差を検出できるので、残留搬送波周波数誤差推定手段の回路構成を単純化できる。

【0031】

請求項5は、OFDM信号を受信して所定の受信処理を行う受信手段と、前記受信手段が出力する受信信号に対してタイミング同期処理および搬送波周波数同期処理を行い同期後の信号および搬送波周波数誤差情報を出力する同期処理手段と、前記同期処理手段によってタイミング同期処理および搬送波周波数同期処理された信号をフーリエ変換を用いて各サブキャリア毎の信号に分離するフーリエ変換手段とを備えるOFDM復調装置において、前記フーリエ変換手段によって分離された各サブキャリア信号を用いてチャネル特性の推定を行うチャネル推定手段と、前記チャネル推定手段から得られるチャネル特性の推定結果を用いて、前記フーリエ変換手段により分離されたサブキャリア信号に対し等化処理および同期検波処理を行い検波信号を出力する同期検波手段と、前記同期処理手段から出力される搬送波周波数誤差情報を用いて各サブキャリア信号のクロック周波数誤差による位相回転を予測し位相回転情報を生成する第1の位相回転予測手段と、前記第1の位相回転予測手段から出力される位相回転情報を用いて前記同期検波手段から出力される検波信号に対しクロック周波数誤差により生じる位相回転を補正する第1の位相回転補正手段と、前記第1の位相回転補正手段から出力される位相回転補正後の信号の全てあるいは一部の検波信号の残留搬送波周波数誤差による位相回転量を検出し残留搬送波周波数誤差情報を生成する残留搬送波周

波数誤差推定手段と、前記残留搬送波周波数誤差推定手段から出力される残留搬送波周波数誤差情報を用いて前記第 1 の位相回転補正手段から出力される検波信号のクロック周波数誤差による残留位相回転量を予測し残留位相回転情報を生成する第 2 の位相回転予測手段と、前記第 2 の位相回転予測手段から出力される残留位相回転情報を用いて前記第 1 の位相回転補正手段から出力される位相回転補正後の信号に対しクロック周波数誤差により生じる残留位相回転を補正する第 2 の位相回転補正手段とを設けたことを特徴とする。

【0032】

チャンネル推定手段は、前記フーリエ変換手段によって分離された各サブキャリア信号を用いてチャンネル特性の推定を行う。同期検波手段は、前記チャンネル推定手段から得られるチャンネル特性の推定結果を用いて、前記フーリエ変換手段により分離されたサブキャリア信号に対し等化处理および同期検波処理を行う。

第 1 の位相回転予測手段は、前記同期処理手段から出力される搬送波周波数誤差情報を用いて各サブキャリア信号のクロック周波数誤差による位相回転を予測する。第 1 の位相回転補正手段は、前記第 1 の位相回転予測手段から出力される位相回転情報を用いて前記同期検波手段から出力される検波信号に対しクロック周波数誤差により生じる位相回転を補正する。

【0033】

残留搬送波周波数誤差推定手段は、前記第 1 の位相回転補正手段から出力される位相回転補正後の信号の全てあるいは一部の検波信号の残留搬送波周波数誤差による位相回転量を検出する。

第 2 の位相回転予測手段は、前記残留搬送波周波数誤差推定手段から出力される残留搬送波周波数誤差情報を用いて前記第 1 の位相回転補正手段から出力される検波信号のクロック周波数誤差による残留位相回転量を予測する。第 2 の位相回転補正手段は、前記第 2 の位相回転予測手段から出力される残留位相回転情報を用いて前記第 1 の位相回転補正手段から出力される位相回転補正後の信号に対しクロック周波数誤差により生じる残留位相回転を補正する。

【0034】

請求項 5 においても、送信側の装置における搬送波周波数とサンプリングクロ

ックの周波数とが同期し、かつ受信側の装置における搬送波周波数とサンプリングクロックの周波数とが同期していることを前提としている。

【0035】

従って、第1の位相回転予測手段は、検出された搬送波周波数誤差に基づいてクロック周波数誤差による位相回転量を求めることができる。また、第2の位相回転予測手段は、残留搬送波周波数誤差に基づいてクロック周波数誤差による残留位相回転量を予測することができる。

第1の位相回転補正手段の補正及び第2の位相回転補正手段の補正により高精度なクロック周波数同期動作が実現されるので、送信側と受信側との間でクロック周波数にずれが存在する場合であっても復調データの品質劣化を避けることができる。

【0036】

また、このようなクロック周波数のずれに対する補正処理はデジタル処理で実現できるので、アナログ回路を用いる必要がなく、回路構成が複雑化するのを避けることができる。

請求項6は、請求項5のOFDM復調装置において、前記残留搬送波周波数誤差推定手段が、前記チャネル推定手段が推定したチャネル特性から得られる各サブキャリア信号の品質情報に基づいて、前記第1の位相回転補正手段から出力される位相回転補正後の検波信号の全てあるいは一部の検波信号を重み付けするとともに、時間方向に検波信号の平滑化を行い、重み付けおよび平滑化された検波信号から残留搬送波周波数誤差による位相回転量を検出することを特徴とする。

【0037】

例えば、サブキャリア毎に通信品質が異なる場合には、通信品質が良好なサブキャリアの検波信号の重みを大きくした信号を処理することによって、フェージング等の影響を抑制し残留搬送波周波数誤差の検出精度を改善できる。また、時間方向に対して平滑化した検波信号を処理することによって、熱雑音等の影響を抑制できる。

【0038】

請求項7は、請求項5のOFDM復調装置において、前記残留搬送波周波数誤

差推定手段が、前記第 1 の位相回転補正手段から出力される位相回転補正後の検波信号のうち、パイロット信号に相当する信号成分に基づいて残留搬送波周波数誤差による位相回転量を検出することを特徴とする。

【0039】

受信した OFDM 信号にパイロット信号が含まれている場合には、パイロット信号に相当する信号成分から残留搬送波周波数誤差を検出することにより、一部の検波信号だけを用いて効率的に残留搬送波周波数誤差を検出できるので、残留搬送波周波数誤差推定手段の回路構成を単純化できる。

請求項 8 は、請求項 5 の OFDM 復調装置において、前記残留搬送波周波数誤差推定手段が、前記第 1 の位相回転補正手段から出力される位相回転補正後の検波信号のうち、パイロット信号に相当する信号成分を、前記チャネル推定手段が推定したチャネル特性から得られる各サブキャリア信号の品質情報に基づいて重み付けするとともに、時間方向に検波信号の平滑化を行い、重み付けおよび平滑化された検波信号に基づいて残留搬送波周波数誤差による位相回転量を検出することを特徴とする。

【0040】

通信品質が良好なサブキャリアの検波信号の重みを大きくした信号を処理することによって、フェージング等の影響を抑制し残留搬送波周波数誤差の検出精度を改善できる。また、時間方向に対して平滑化した検波信号を処理することによって、熱雑音等の影響を抑制できる。

更に、受信した OFDM 信号にパイロット信号が含まれている場合には、パイロット信号に相当する信号成分から残留搬送波周波数誤差を検出することにより、一部の検波信号だけを用いて効率的に残留搬送波周波数誤差を検出できるので、残留搬送波周波数誤差推定手段の回路構成を単純化できる。

【0041】

【発明の実施の形態】

（第 1 の実施の形態）

この形態の OFDM 復調装置について、図 1 を参照して説明する。この形態は請求項 1 に対応する。

この形態では、請求項 1 の受信手段、同期処理手段、フーリエ変換手段、チャネル推定手段、同期検波手段、残留搬送波周波数誤差推定手段、位相回転予測手段及び位相回転補正手段は、それぞれ受信回路 1 0 2、同期処理回路 1 0 3、フーリエ変換回路 1 0 5、チャネル推定回路 1 0 6、同期検波回路 1 0 7、共通位相回転量検出回路 1 0 8、位相回転予測回路 1 1 1 及び位相回転補正回路 1 0 9 に対応する。

【0 0 4 2】

なお、この例では図 1 の OFDM 復調装置が受信する OFDM 信号を送信する送信装置において、搬送波周波数とサンプリングクロックの周波数とが同期していることを想定している。また、図 1 の OFDM 復調装置は、受信側における搬送波周波数とサンプリングクロックの周波数とが同期するように制御する。この例では、同一の信号源が出力する信号に基づいて搬送波周波数及びサンプリングクロック周波数の両方を生成しているので、搬送波周波数とサンプリングクロックの周波数とが同期している。

【0 0 4 3】

アンテナ 1 0 1 で受信された OFDM 信号は受信回路 1 0 2 に入力される。受信回路 1 0 2 は、入力される OFDM 信号に対して周波数変換、フィルタリング、直交検波等の受信処理を施す。この受信処理の結果、複素ベースバンド信号として受信信号が受信回路 1 0 2 から出力される。

受信回路 1 0 2 から出力される複素ベースバンド信号は、同期処理回路 1 0 3 に入力される。同期処理回路 1 0 3 は、入力される複素ベースバンド信号に含まれる同期用プリアンプル信号（図 1 0 参照）を用いて搬送波周波数誤差及びシンボルタイミングを検出する。そして、受信回路 1 0 2 から入力される複素ベースバンド信号に対して、検出した搬送波周波数誤差の情報をを用いて搬送波周波数誤差を補正するための処理を施す。

【0 0 4 4】

同期処理回路 1 0 3 は、搬送波周波数誤差の補正された複素ベースバンド信号と、検出したシンボルタイミングの情報と、検出した搬送波周波数誤差の情報とを出力する。これらの信号はガードインターバル除去回路 1 0 4 に入力される。

なお、シンボルタイミングの検出は、受信したOFDM信号のシンボル間に存在するガードインターバルを除去して各シンボルから有効なデータ成分を抽出するために必要になる。

【0045】

ガードインターバル除去回路104は、同期処理回路103から入力されるシンボルタイミングの情報に従って、入力される複素ベースバンド信号にFFTウインドウ処理を施す。すなわち、複素ベースバンド信号の1OFDMシンボル毎に、FFTウインドウの時間幅の信号成分だけを抽出し、ガードインターバルを除去する。FFTウインドウの時間幅は、1OFDMシンボル長からガードインターバルに相当する信号長を引いた時間幅である。

【0046】

ガードインターバル除去回路104によってガードインターバルを除去された複素ベースバンド信号がフーリエ変換回路105に入力される。フーリエ変換回路105は、入力される複素ベースバンド信号に1OFDMシンボル毎に高速フーリエ変換処理を施して、入力信号に含まれる多数のサブキャリアの各信号成分をそれぞれ分離する。

【0047】

フーリエ変換回路105で分離された各サブキャリアの信号は、同期検波回路107及びチャネル推定回路106にそれぞれ入力される。チャネル推定回路106は、入力される各サブキャリアの信号のうち、チャネル推定用プリアンブル信号(図10参照)に相当する信号成分を用いて受信したOFDM信号が通ってきた伝送路(チャネル)の状態を推定し、その推定結果を出力する。

【0048】

チャネル推定回路106のチャネル推定結果を参照することにより、例えば、各々のサブキャリアの振幅や位相がフェージングによってどのような影響を受けているかを知ることができる。チャネル推定回路106のチャネル推定結果は、同期検波回路107に入力される。

同期検波回路107は、同期検波回路107から入力される複素ベースバンド信号について、チャネル推定回路106から入力されるチャネル推定結果を利用

して、サブキャリア毎に、フェージング等のチャネル特性に起因する振幅変動及び位相回転を補正するとともに同期検波を行う。

【0049】

同期検波回路107が出力する検波信号は、共通位相回転量検出回路108及び位相回転補正回路109にそれぞれ入力される。共通位相回転量検出回路108は、同期検波回路107から入力される検波信号に基づいてその検波信号に現れる搬送波周波数誤差、すなわち残留搬送波周波数誤差を検出する。

例えば、変調方式として16QAM変調を採用している場合には、同期検波後の信号は本来、位相平面上で図9に示す16個の基準信号点S1～S16のいずれかの位置に現れる。しかし、送信側と受信側との間で搬送波周波数及びクロック周波数にずれが存在する場合には同期検波された検波信号に位相回転が生じるため、同期検波回路107から出力される検波信号（図9のR1，R2）の位置は本来の位置であるいずれか1つの基準信号点と一致しなくなる。

【0050】

搬送波周波数のずれによって生じる位相回転は、検波信号に含まれる全てのサブキャリアの信号成分に共通に現れる。そこで、共通位相回転量検出回路108は、入力される複数のサブキャリアに共通に現れた位相回転量あるいは位相回転累積量を検出することによって、残留搬送波周波数誤差を検出する。

実際には、まず同一の1OFDMシンボルについて各々のサブキャリアの位相差を検出する。例えば、図9に示す入力信号R1が検波信号である場合、共通位相回転量検出回路108は基準信号点S1～S16の中で位置が入力信号R1に最も近い基準信号点S3を基準とし、基準信号点S3と入力信号R1との位相差 $\phi 1$ を検出する。また、図9に示す入力信号R2が検波信号である場合、共通位相回転量検出回路108は基準信号点S1～S16の中で位置が入力信号R2に最も近い基準信号点S6を基準とし、基準信号点S6と入力信号R2との位相差 $\phi 2$ を検出する。

【0051】

ここで検出される位相差には、残留搬送波周波数誤差の成分だけでなく、クロック周波数の誤差によって生じる位相回転の成分も含まれている。そこで、全て

のサブキャリアに共通な位相回転を検出するために、共通位相回転量検出回路 108 は同一の OFDM シンボルについて検出された各サブキャリアの位相差を全てのサブキャリアについて平均化する。

【0052】

各サブキャリアのクロック周波数誤差による位相回転量は、チャンネルの中心周波数と当該サブキャリア周波数との間の周波数オフセット量に比例する。このため、全てのサブキャリアの各々の位相差を OFDM シンボル内で単純に平均化すると、周波数軸上でチャンネルの中心周波数を跨いで互いに対称な位置にあるサブキャリア同士でクロック周波数誤差による位相回転が打ち消し合うため、残留周波数誤差による各サブキャリアに共通な位相回転情報だけが抽出される。

【0053】

位相回転予測回路 111 の入力には、同期処理回路 103 から出力される搬送波周波数誤差の情報と、共通位相回転量検出回路 108 から出力される残留搬送波周波数誤差の情報とが印加される。これらの入力情報に基づいて、位相回転予測回路 111 は送信側と受信側とのクロック周波数誤差によって生じる位相回転量を OFDM シンボル毎及びサブキャリア毎にそれぞれ予測する。

【0054】

この例では、送信側の装置における搬送波周波数とサンプリングクロックの周波数とが同期し、かつ受信側の装置における搬送波周波数とサンプリングクロックの周波数とが同期している。そのため前記第(2)式及び第(3)式が成立する。つまり、クロック周波数のずれによって生じる位相回転量 $\Delta\theta$ を、第(3)式に基づいて、搬送波周波数の誤差から求めることができる。位相回転量 $\Delta\theta$ は OFDM シンボル毎及びサブキャリア毎に異なるので、それらの各々について位相回転予測回路 111 は位相回転量 $\Delta\theta$ を計算する。

【0055】

位相回転補正回路 109 は、位相回転予測回路 111 が予測した OFDM シンボル毎及びサブキャリア毎の各位相回転量 $\Delta\theta$ に基づいて、位相回転補正回路 109 から入力される検波信号の各サブキャリアに生じている位相回転をそれぞれ補正する。この補正によって、送信側と受信側とのクロック周波数誤差によって

生じた位相回転が補正される。

【0056】

位相回転補正回路109によって位相回転の補正された検波信号が識別回路110に入力される。識別回路110は、入力される検波信号のうち、データ信号（図10参照）についてシンボル判定を行い、その判定結果を復調出力として出力する。例えば、16QAM変調の場合には識別回路110は各々の検波信号が図9に示す基準信号点S1～S16のいずれに該当するかを識別する。

【0057】

（第2の実施の形態）

この形態のOFDM復調装置について、図2を参照して説明する。この形態は請求項2に対応する。この形態は第1の実施の形態の変形例である。図2において、第1の実施の形態と対応する要素は同一の符号を付けて示してある。第1の実施の形態と同一の部分については、以下の説明を省略する。

【0058】

図2のOFDM復調装置には、重み付け回路201及び平滑化回路202が追加されている。共通位相回転量検出回路203の基本的な動作は、前記共通位相回転量検出回路108と同じである。

重み付け回路201の入力には、同期検波回路107が出力する検波信号と、チャンネル推定回路106が推定したチャンネル推定結果と、位相回転予測回路111が予測した位相回転量とがそれぞれ印加される。

【0059】

重み付け回路201は、同期検波回路107が出力する検波信号に含まれる多数のサブキャリアの全てあるいは一部分（複数）を入力する。そして、まずクロック周波数誤差によって各々の検波信号に生じた位相回転を、位相回転予測回路111が予測した位相回転量を用いて補正する。次に、チャンネル推定回路106から入力されるチャンネル推定結果を用いて、位相回転の補正された各サブキャリアの検波信号に重み付けを行う。

【0060】

例えば、チャンネル推定結果から得られる各サブキャリアの電力レベル情報に基

づいて、電力レベルが大きいサブキャリアの検波信号には大きな重み付けを行い、電力レベルが小さいサブキャリアの検波信号には小さい重み付けを行う。このような重み付けを行うと、位相回転量を検出する際に電力レベルの小さい信号（劣化した信号）の影響度が小さくなり位相回転検出の信頼性が改善される。

【0061】

重み付け回路 201 によって重み付けされた検波信号は、サブキャリア毎に平滑化回路 202 に入力される。平滑化回路 202 は、重み付け回路 201 から入力される検波信号について、サブキャリア毎に時間軸方向に対する移動平均を計算し、その結果を出力する。すなわち、平滑化回路 202 は検波信号を平滑化する。この平滑化により、受信回路 102 において信号に付加された熱雑音等による信号品質の劣化を除去することができる。

【0062】

共通位相回転量検出回路 203 は、重み付け回路 201 で重み付けされ平滑化回路 202 で平滑化された検波信号を入力する。そして、各サブキャリアの位相差（図 9 の $\phi 1$ 、 $\phi 2$ ）を検出するとともにそれらを同一の OFDM シンボルについて平均化し、各サブキャリアに共通な位相回転量あるいは位相回転累積量を残留搬送波周波数誤差として検出する。

【0063】

位相回転予測回路 111 は、同期処理回路 103 で検出された搬送波周波数誤差の情報と、共通位相回転量検出回路 203 で検出された残留搬送波周波数誤差の情報とに基づいて、クロック周波数誤差によって生じる OFDM シンボル毎及びサブキャリア毎の位相回転量を予測する。

（第 3 の実施の形態）

この形態の OFDM 復調装置について、図 3 を参照して説明する。この形態は請求項 3 に対応する。この形態は第 1 の実施の形態の変形例である。図 3 において、第 1 の実施の形態と対応する要素は同一の符号を付けて示してある。第 1 の実施の形態と同一の部分については、以下の説明を省略する。

【0064】

図 3 の OFDM 復調装置には、パイロット信号抽出回路 301 が追加されてい

る。共通位相回転量検出回路 3 0 2 の基本的な動作は、前記共通位相回転量検出回路 1 0 8 と同じである。

【0 0 6 5】

この形態では、受信した OFDM 信号に含まれる多数のサブキャリアのうち一部分（複数）のサブキャリアに予め固定されたパイロット信号（既知信号）を割り当ててある場合を想定している。

パイロット信号抽出回路 3 0 1 は、同期検波回路 1 0 7 が出力する検波信号を入力し、その検波信号の中からパイロット信号に相当するサブキャリアの信号成分だけを抽出する。

【0 0 6 6】

共通位相回転量検出回路 3 0 2 は、パイロット信号抽出回路 3 0 1 が抽出したパイロット信号に相当する特定の複数のサブキャリア（パイロット信号の送信に使用されたサブキャリアであるパイロットサブキャリア）の信号成分だけを入力し、それらのパイロットサブキャリアに共通に生じている位相回転量あるいは位相回転累積量を検出する。

【0 0 6 7】

パイロット信号は既知信号なので、それに対応する基準信号点（例えば図 9 の S 1 ~ S 1 6 のいずれか 1 つ）も既知である。従って、パイロット信号に相当する信号だけを共通位相回転量の検出対象にする場合には、検波信号に対応する特定の基準信号点を識別する必要がなく、共通位相回転量検出回路 3 0 2 における信号処理が簡単になる。

【0 0 6 8】

共通位相回転量検出回路 3 0 2 は、検出した共通な位相回転量から残留搬送波周波数誤差を求める。共通位相回転量検出回路 3 0 2 がパイロットサブキャリアの信号成分から検出した残留搬送波周波数誤差の情報が、位相回転予測回路 1 1 1 に入力される。

（第 4 の実施の形態）

この形態の OFDM 復調装置について、図 4 を参照して説明する。この形態は請求項 4 に対応する。この形態は第 1 の実施の形態の変形例である。図 4 におい

て、第 1 の実施の形態と対応する要素は同一の符号を付けて示してある。第 1 の実施の形態と同一の部分については、以下の説明を省略する。

【0069】

図 4 の OFDM 復調装置には、パイロット信号抽出回路 401、重み付け回路 402、平滑化回路 403 及び共通位相回転量検出回路 404 が追加されている。共通位相回転量検出回路 404 の基本的な動作は、前記共通位相回転量検出回路 108 と同じである。

この形態では、受信した OFDM 信号に含まれる多数のサブキャリアのうち一部分（複数）のサブキャリアに予め固定されたパイロット信号を割り当ててある場合を想定している。

【0070】

パイロット信号抽出回路 401 は、同期検波回路 107 が出力する検波信号を入力し、その検波信号の中からパイロット信号に相当するサブキャリアの信号成分だけを抽出する。

重み付け回路 402 は、パイロット信号抽出回路 401 によって検波信号の中から抽出されたパイロット信号に相当する各サブキャリアの信号成分を入力する。そして、まずクロック周波数誤差によって各々の検波信号に生じた位相回転を、位相回転予測回路 111 が予測した位相回転量を用いて補正する。次に、チャネル推定回路 106 から入力されるチャネル推定結果を用いて、位相回転の補正された各サブキャリアの検波信号に重み付けを行う。

【0071】

例えば、チャネル推定結果から得られる各サブキャリアの電力レベル情報に基づいて、電力レベルが大きいサブキャリアの検波信号には大きな重み付けを行い、電力レベルが小さいサブキャリアの検波信号には小さい重み付けを行う。このような重み付けを行うと、位相回転量を検出する際に電力レベルの小さい信号の影響度が小さくなり位相回転検出の信頼性が改善される。

【0072】

重み付け回路 402 によって重み付けされた各パイロットサブキャリアの検波信号は、サブキャリア毎に平滑化回路 403 に入力される。平滑化回路 403 は

、重み付け回路 4 0 2 から入力される検波信号について、サブキャリア毎に時間軸方向に対する移動平均を計算し、その結果を出力する。すなわち、平滑化回路 4 0 3 は検波信号を平滑化する。この平滑化により、受信回路 1 0 2 において信号に付加された熱雑音等による信号品質の劣化を除去することができる。

【0 0 7 3】

共通位相回転量検出回路 4 0 4 は、重み付け回路 4 0 2 で重み付けされ平滑化回路 4 0 3 で平滑化されたパイロットサブキャリアの検波信号を入力し、クロック周波数誤差によって複数のパイロットサブキャリアの検波信号に共通に生じた位相回転の位相回転量あるいは位相回転累積量を検出する。そして、検出した共通位相回転量から残留搬送波周波数誤差を求める。共通位相回転量検出回路 4 0 4 の求めた残留搬送波周波数誤差が位相回転予測回路 1 1 1 に入力される。

【0 0 7 4】

（第 5 の実施の形態）

この形態の OFDM 復調装置について、図 5 を参照して説明する。この形態は請求項 5 に対応する。この形態は第 1 の実施の形態の変形例である。図 5 において、第 1 の実施の形態と対応する要素は同一の符号を付けて示してある。第 1 の実施の形態と同一の部分については、以下の説明を省略する。

【0 0 7 5】

この形態では、請求項 5 の受信手段、同期処理手段、フーリエ変換手段、チャネル推定手段、同期検波手段、第 1 の位相回転予測手段、第 1 の位相回転補正手段、残留搬送波周波数誤差推定手段、第 2 の位相回転予測手段及び第 2 の位相回転補正手段は、それぞれ受信回路 1 0 2、同期処理回路 1 0 3、フーリエ変換回路 1 0 5、チャネル推定回路 1 0 6、同期検波回路 1 0 7、位相回転予測回路 1 1 2、位相回転補正回路 1 1 3、共通位相回転量検出回路 1 0 8、位相回転予測回路 1 1 1 及び位相回転補正回路 1 0 9 に対応する。

【0 0 7 6】

なお、この例でも図 5 の OFDM 復調装置が受信する OFDM 信号を送信する送信装置において、搬送波周波数とサンプリングクロックの周波数とが同期していることを想定している。また、図 5 の OFDM 復調装置は、受信側における搬

送波周波数とサンプリングクロックの周波数とが同期するように制御する。

図5に示すOFDM復調装置は、独立した2つの位相回転予測回路111、112と、独立した2つの位相回転補正回路109、113とを備えている。この形態では、位相回転予測回路112は、同期処理回路103から入力される搬送波周波数誤差の情報を用いてクロック周波数誤差によって検波信号に生じる位相回転量をOFDMシンボル毎及びサブキャリア毎にそれぞれ予測する。

【0077】

すなわち、この例では送信側の装置における搬送波周波数とサンプリングクロックの周波数とが同期し、かつ受信側の装置における搬送波周波数とサンプリングクロックの周波数とが同期しているので、前述のようにクロック周波数のずれによって生じる位相回転量は第(3)式に基づいて搬送波周波数の誤差から求めることができる。位相回転量はOFDMシンボル毎及びサブキャリア毎に異なるので、それらの各々について位相回転予測回路112は位相回転量を計算する。

【0078】

位相回転補正回路113は、同期検波回路107から入力される検波信号の位相回転を、位相回転予測回路112の予測した位相回転量に基づいてOFDMシンボル毎及びサブキャリア毎にそれぞれ補正する。位相回転を補正した検波信号が、位相回転補正回路113から出力される。

しかしながら、現実には同期処理回路103において搬送波周波数誤差を完全に補正することはできないので、同期処理回路103が出力する複素ベースバンド信号には残留搬送波周波数誤差が含まれている。位相回転補正回路113は同期処理回路103が検出した搬送波周波数誤差に基づいて位相回転予測回路112の予測した位相回転量を補正するので、位相回転補正回路113から出力される補正された検波信号には、残留搬送波周波数誤差に相当する位相回転成分が残留している。

【0079】

そこで、位相回転補正回路113が出力する検波信号に残留している位相回転成分、すなわちクロック周波数誤差によって生じる位相回転のうち、残留搬送波周波数誤差に相当する位相回転成分を位相回転補正回路109で補正する。

共通位相回転量検出回路 1 0 8 は、
位相回転補正回路 1 1 3 で補正された検波信号を入力し、入力した検波信号に基づいてそれに現れる残留搬送波周波数誤差を検出する。すなわち、検波信号に含まれる複数のサブキャリアのそれぞれの成分について基準信号点との位相差を検出し、検出した位相差を複数のサブキャリアについて平均化することにより、複数のサブキャリアに共通な位相回転量を検出する。この位相回転量が残留搬送波周波数誤差に相当する。

【0 0 8 0】

位相回転予測回路 1 1 1 は、位相回転補正回路 1 1 3 が出力する検波信号に残留している位相回転成分の位相回転量を、共通位相回転量検出回路 1 0 8 で検出された残留搬送波周波数誤差の情報に基づいて、OFDMシンボル毎及びサブキャリア毎にそれぞれ予測する。

この例では、送信側の装置における搬送波周波数とサンプリングクロックの周波数とが同期し、かつ受信側の装置における搬送波周波数とサンプリングクロックの周波数とが同期しているので、クロック周波数のずれによって生じる位相回転量は残留搬送波周波数誤差から求めることができる。位相回転量はOFDMシンボル毎及びサブキャリア毎に異なるので、それらの各々について位相回転予測回路 1 1 1 は位相回転量を計算する。

【0 0 8 1】

位相回転補正回路 1 0 9 は、位相回転予測回路 1 1 1 が予測したOFDMシンボル毎及びサブキャリア毎の各位相回転量に基づいて、位相回転補正回路 1 1 3 から入力される検波信号の各サブキャリアに生じている位相回転をそれぞれ補正する。この補正によって、送信側と受信側とのクロック周波数誤差によって生じた位相回転のうち、位相回転補正回路 1 1 3 で補正しきれなかった残留位相回転が補正される。

【0 0 8 2】

(第 6 の実施の形態)

この形態のOFDM復調装置について、図 6 を参照して説明する。この形態は請求項 6 に対応する。この形態は第 5 の実施の形態の変形例である。図 6 におい

て、第 5 の実施の形態と対応する要素は同一の符号を付けて示してある。第 5 の実施の形態と同一の部分については、以下の説明を省略する。

【0083】

図 6 の OFDM 復調装置には、重み付け回路 601 及び平滑化回路 602 が追加されている。共通位相回転量検出回路 603 の基本的な動作は、前記共通位相回転量検出回路 108 と同じである。

重み付け回路 601 の入力には、位相回転補正回路 113 で補正された検波信号と、チャネル推定回路 106 が推定したチャネル推定結果と、位相回転予測回路 111 が予測した位相回転量とがそれぞれ印加される。

【0084】

重み付け回路 601 は、位相回転補正回路 113 が出力する検波信号に含まれる多数のサブキャリアの全てあるいは一部分（複数）を入力する。そして、まずクロック周波数誤差によって各々の検波信号に生じた位相回転を、位相回転予測回路 111 が予測した位相回転量を用いて補正する。次に、チャネル推定回路 106 から入力されるチャネル推定結果を用いて、位相回転の補正された各サブキャリアの検波信号に重み付けを行う。

【0085】

例えば、チャネル推定結果から得られる各サブキャリアの電力レベル情報に基づいて、電力レベルが大きいサブキャリアの検波信号には大きな重み付けを行い、電力レベルが小さいサブキャリアの検波信号には小さい重み付けを行う。このような重み付けを行うと、位相回転量を検出する際に電力レベルの小さい信号（劣化した信号）の影響度が小さくなり位相回転検出の信頼性が改善される。

【0086】

重み付け回路 601 によって重み付けされた検波信号は、サブキャリア毎に平滑化回路 602 に入力される。平滑化回路 602 は、重み付け回路 201 から入力される検波信号について、サブキャリア毎に時間軸方向に対する移動平均を計算し、その結果を出力する。すなわち、平滑化回路 602 は検波信号を平滑化する。この平滑化により、受信回路 102 において信号に付加された熱雑音等による信号品質の劣化を除去することができる。

【 0 0 8 7 】

共通位相回転量検出回路 6 0 3 は、重み付け回路 6 0 1 で重み付けされ平滑化回路 6 0 2 で平滑化された検波信号を入力する。そして、各サブキャリアの位相差（図 9 の $\phi 1$, $\phi 2$ ）を検出するとともにそれらを同一の OFDM シンボルについて平均化し、各サブキャリアに共通な位相回転量あるいは位相回転累積量を残留搬送波周波数誤差として検出する。

【 0 0 8 8 】

位相回転予測回路 1 1 1 は、共通位相回転量検出回路 6 0 3 で検出された残留搬送波周波数誤差の情報に基づいて、クロック周波数誤差によって生じる OFDM シンボル毎及びサブキャリア毎の位相回転量を予測する。

（第 7 の実施の形態）

この形態の OFDM 復調装置について、図 7 を参照して説明する。この形態は請求項 7 に対応する。この形態は第 5 の実施の形態の変形例である。図 7 において、第 5 の実施の形態と対応する要素は同一の符号を付けて示してある。第 5 の実施の形態と同一の部分については、以下の説明を省略する。

【 0 0 8 9 】

図 7 の OFDM 復調装置には、パイロット信号抽出回路 7 0 1 が追加されている。共通位相回転量検出回路 7 0 2 の基本的な動作は、前記共通位相回転量検出回路 1 0 8 と同じである。

この形態では、受信した OFDM 信号に含まれる多数のサブキャリアのうち一部分（複数）のサブキャリアに予め固定されたパイロット信号（既知信号）を割り当ててある場合を想定している。

【 0 0 9 0 】

パイロット信号抽出回路 7 0 1 は、位相回転補正回路 1 1 3 が出力する検波信号を入力し、その検波信号の中からパイロット信号に相当するサブキャリアの信号成分だけを抽出する。

共通位相回転量検出回路 7 0 2 は、パイロット信号抽出回路 7 0 1 が抽出したパイロット信号に相当する特定の複数のサブキャリア（パイロット信号の送信に使用されたサブキャリアであるパイロットサブキャリア）の信号成分だけを入力

し、それらのパイロットサブキャリアに共通に生じている位相回転量あるいは位相回転累積量を検出する。

【0091】

パイロット信号は既知信号なので、それに対応する基準信号点（例えば図9のS1～S16のいずれか1つ）も既知である。従って、パイロット信号に相当する信号だけを共通位相回転量の検出対象にする場合には、検波信号に対応する特定の基準信号点を識別する必要がなく、共通位相回転量検出回路702における信号処理が簡単になる。

【0092】

共通位相回転量検出回路702は、検出した共通な位相回転量から残留搬送波周波数誤差を求める。共通位相回転量検出回路702がパイロットサブキャリアの信号成分から検出した残留搬送波周波数誤差の情報が、位相回転予測回路111に輸入される。

（第8の実施の形態）

この形態のOFDM復調装置について、図8を参照して説明する。この形態は請求項8に対応する。この形態は第5の実施の形態の変形例である。図8において、第5の実施の形態と対応する要素は同一の符号を付けて示してある。第5の実施の形態と同一の部分については、以下の説明を省略する。

【0093】

図8のOFDM復調装置には、パイロット信号抽出回路801、重み付け回路802、平滑化回路803及び共通位相回転量検出回路804が追加されている。共通位相回転量検出回路804の基本的な動作は、前記共通位相回転量検出回路108と同じである。

この形態では、受信したOFDM信号に含まれる多数のサブキャリアのうち一部分（複数）のサブキャリアに予め固定されたパイロット信号（既知信号）を割り当ててある場合を想定している。

【0094】

パイロット信号抽出回路801は、位相回転補正回路113が出力する検波信号を入力し、その検波信号の中からパイロット信号に相当するサブキャリアの信

号成分だけを抽出する。

重み付け回路 8 0 1 の入力には、位相回転補正回路 1 1 3 で補正された検波信号と、チャンネル推定回路 1 0 6 が推定したチャンネル推定結果と、位相回転予測回路 1 1 1 が予測した位相回転量とがそれぞれ印加される。

【0 0 9 5】

重み付け回路 8 0 1 は、位相回転補正回路 1 1 3 が出力する検波信号に含まれる多数のサブキャリアの全てあるいは一部分（複数）を入力する。そして、まずクロック周波数誤差によって各々の検波信号に生じた位相回転を、位相回転予測回路 1 1 1 が予測した位相回転量を用いて補正する。次に、チャンネル推定回路 1 0 6 から入力されるチャンネル推定結果を用いて、位相回転の補正された各サブキャリアの検波信号に重み付けを行う。

【0 0 9 6】

例えば、チャンネル推定結果から得られる各サブキャリアの電力レベル情報に基づいて、電力レベルが大きいサブキャリアの検波信号には大きな重み付けを行い、電力レベルが小さいサブキャリアの検波信号には小さい重み付けを行う。このような重み付けを行うと、位相回転量を検出する際に電力レベルの小さい信号（劣化した信号）の影響度が小さくなり位相回転検出の信頼性が改善される。

【0 0 9 7】

重み付け回路 8 0 2 によって重み付けされた検波信号は、サブキャリア毎に平滑化回路 8 0 3 に入力される。平滑化回路 8 0 3 は、重み付け回路 8 0 2 から入力される検波信号について、サブキャリア毎に時間軸方向に対する移動平均を計算し、その結果を出力する。すなわち、平滑化回路 8 0 3 は検波信号を平滑化する。この平滑化により、受信回路 1 0 2 において信号に付加された熱雑音等による信号品質の劣化を除去することができる。

【0 0 9 8】

共通位相回転量検出回路 8 0 4 は、重み付け回路 8 0 2 で重み付けされ、平滑化回路 8 0 3 で平滑化されたパイロット信号の検波信号を入力し、複数のパイロットサブキャリアに共通に生じている位相回転量あるいは位相回転累積量を検出する。

パイロット信号は既知信号なので、それに対応する基準信号点（例えば図 9 の S 1 ～ S 1 6 のいずれか 1 つ）も既知である。従って、パイロット信号に相当する信号だけを共通位相回転量の検出対象にする場合には、検波信号に対応する特定の基準信号点を識別する必要がなく、共通位相回転量検出回路 8 0 4 における信号処理が簡単になる。

【0 0 9 9】

共通位相回転量検出回路 8 0 4 がパイロットサブキャリアの信号成分から検出した残留搬送波周波数誤差の情報が、位相回転予測回路 1 1 1 に入力される。

【0 1 0 0】

【発明の効果】

以上説明したように本発明によれば、送受間でクロック周波数にずれがある場合でも劣化無く OFDM 信号を復調することが可能である。また、構成の複雑なアナログ補正回路を設ける必要もない。

【0 1 0 1】

また、チャネル推定結果を利用して重み付けを行いさらに平滑化を行った情報を用いて同期検波後の複数のサブキャリア信号に共通な位相回転を検出することにより、フェージングや熱雑音等の影響を受けにくくなる。

また、既知信号であるパイロット信号を利用してクロック周波数誤差による位相回転量あるいは位相回転累積量を検出することにより、位相回転を検出する回路の構成が簡略化される。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

第 1 の実施の形態の OFDM 復調装置の構成を示すブロック図である。

【図 2】

第 2 の実施の形態の OFDM 復調装置の構成を示すブロック図である。

【図 3】

第 3 の実施の形態の OFDM 復調装置の構成を示すブロック図である。

【図 4】

第 4 の実施の形態の OFDM 復調装置の構成を示すブロック図である。

【図 5】

第 5 の実施の形態の OFDM 復調装置の構成を示すブロック図である。

【図 6】

第 6 の実施の形態の OFDM 復調装置の構成を示すブロック図である。

【図 7】

第 7 の実施の形態の OFDM 復調装置の構成を示すブロック図である。

【図 8】

第 8 の実施の形態の OFDM 復調装置の構成を示すブロック図である。

【図 9】

16 QAM 変調の場合の信号の例を示すグラフである。

【図 10】

OFDM 信号のバーストフォーマットの例を示すタイムチャートである。

【図 11】

従来例の OFDM 復調装置の構成を示すブロック図である。

【符号の説明】

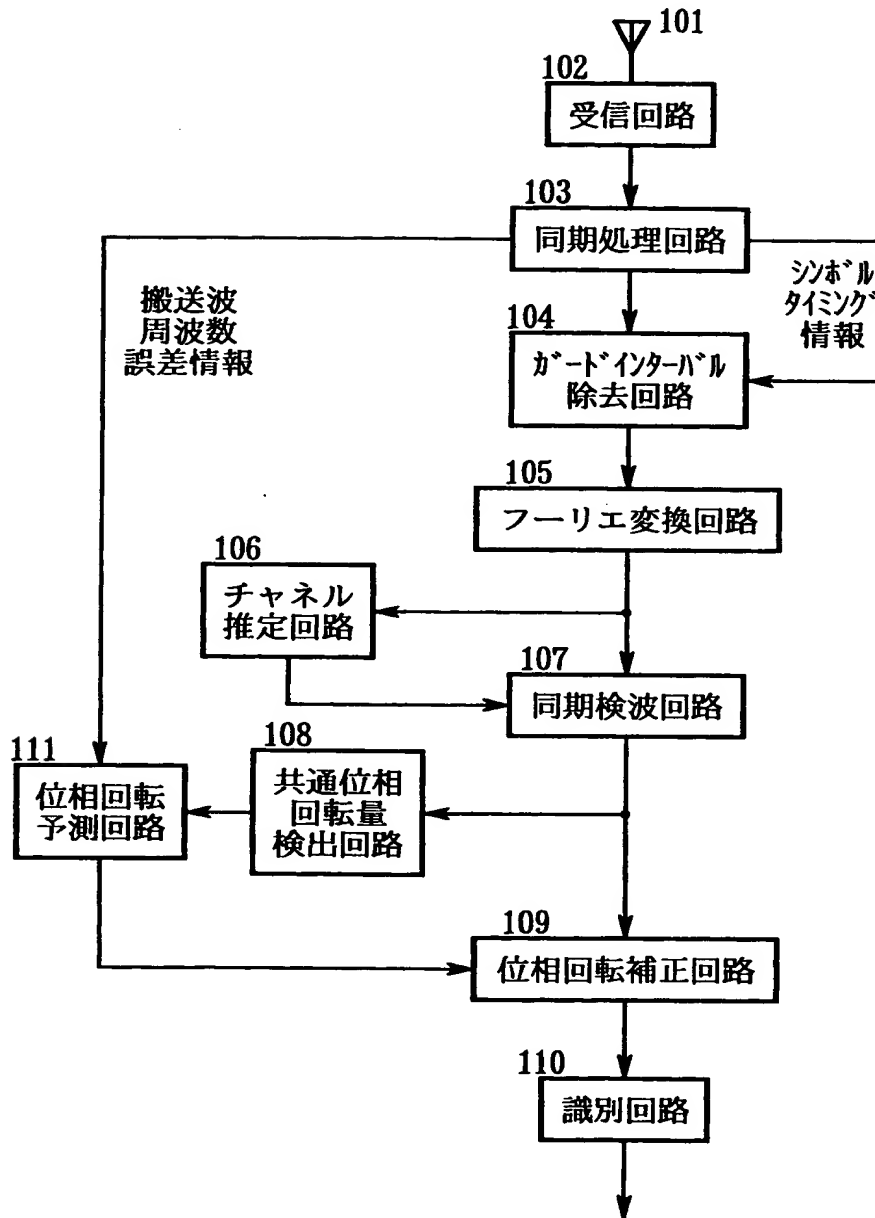
- 101 アンテナ
- 102 受信回路
- 103 同期処理回路
- 104 ガードインターバル除去回路
- 105 フーリエ変換回路
- 106 チャネル推定回路
- 107 同期検波回路
- 108 共通位相回転量検出回路
- 109 位相回転補正回路
- 110 識別回路
- 111, 112 位相回転予測回路
- 113 位相回転補正回路
- 201, 402 重み付け回路
- 202, 403 平滑化回路

203, 404 共通位相回転量検出回路
301, 401 パイロット信号抽出回路
302 共通位相回転量検出回路
601, 802 重み付け回路
602, 803 平滑化回路
603, 702, 804 共通位相回転量検出回路
701, 801 パイロット信号抽出回路

【書類名】 図面

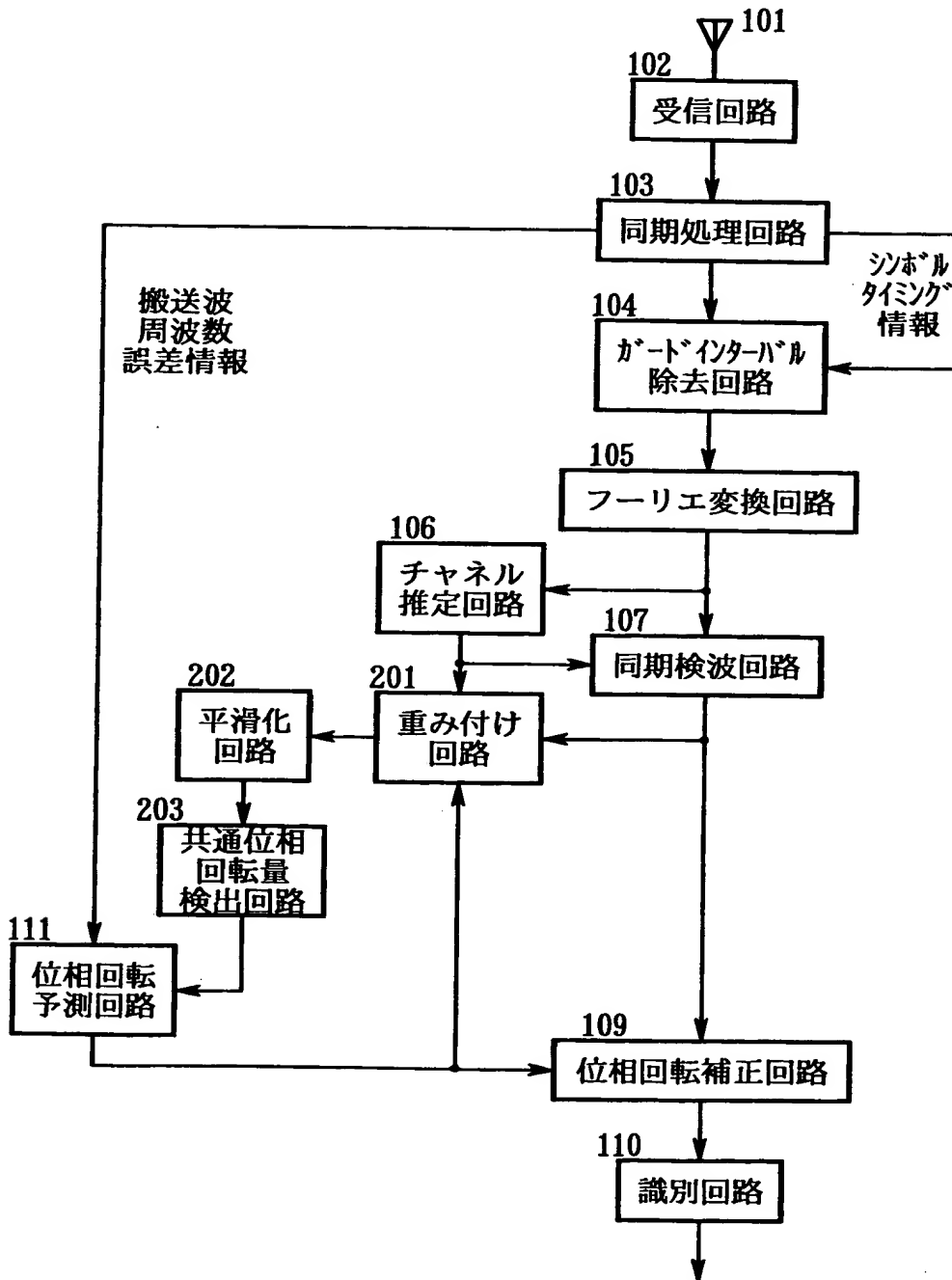
【図 1】

第 1 の実施の形態の OFDM 復調装置の構成



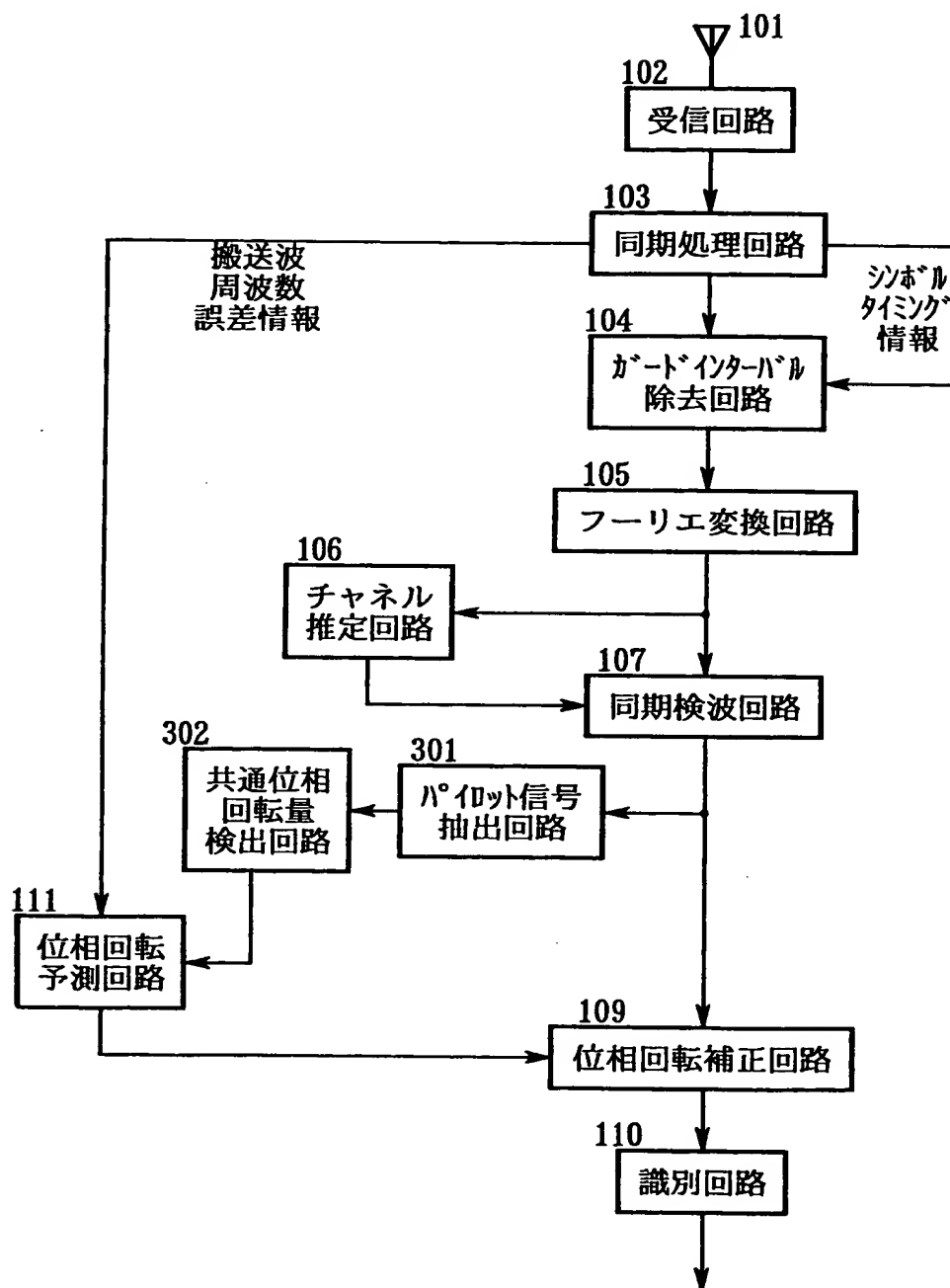
【図 2】

第 2 の実施の形態の OFDM 復調装置の構成



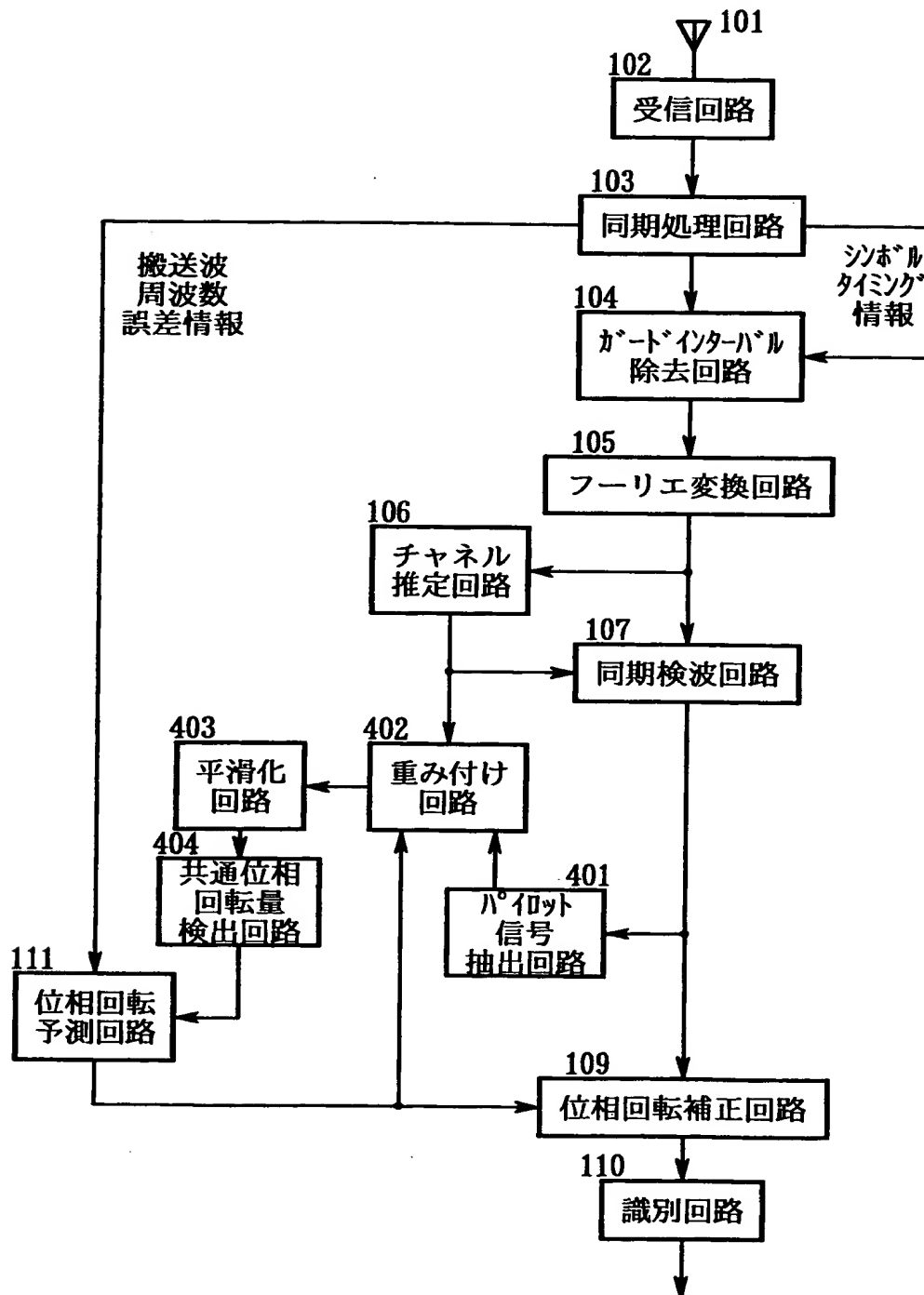
【図 3】

第 3 の実施の形態の OFDM 復調装置の構成



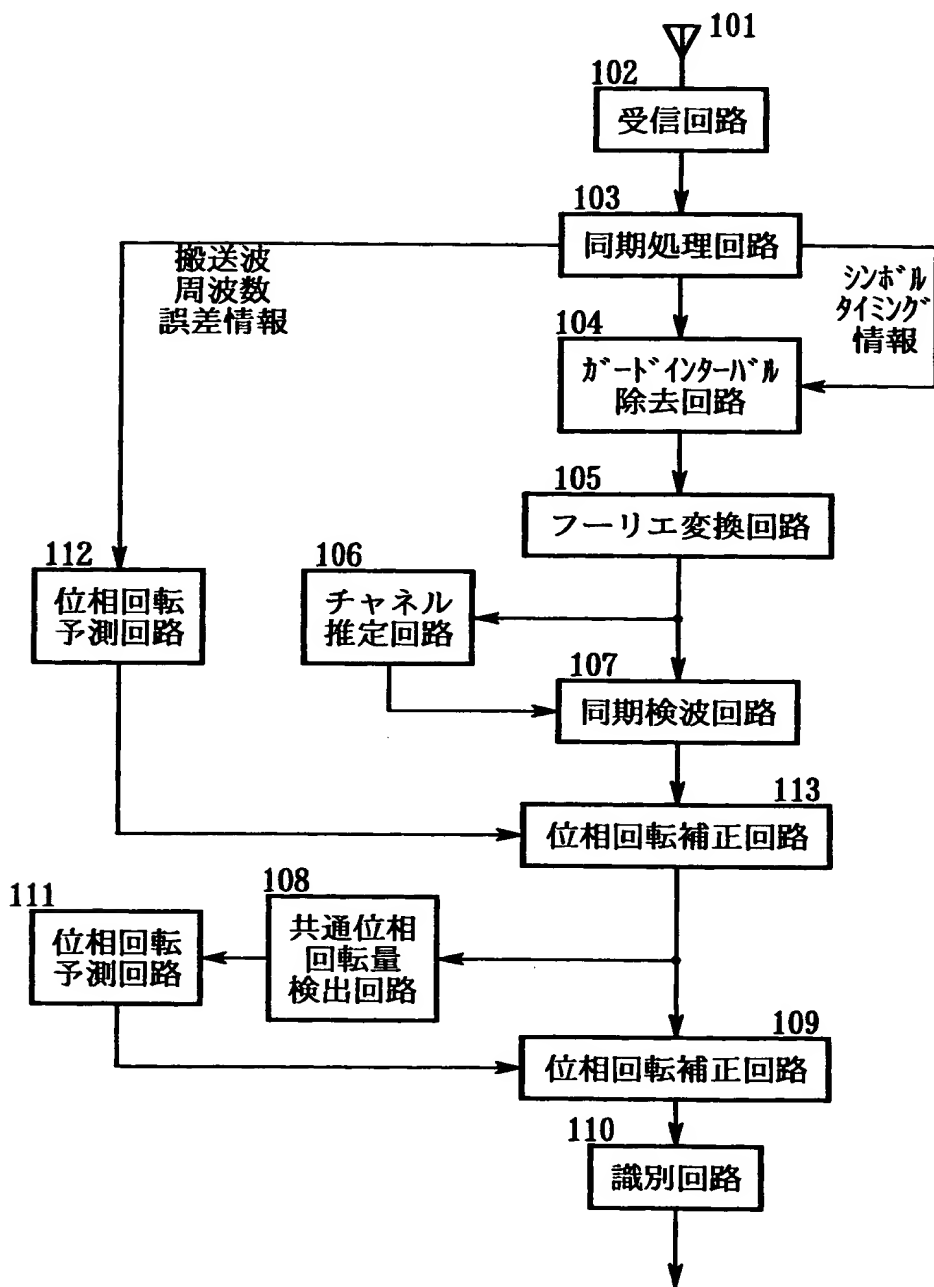
【図 4】

第 4 の実施の形態の O F D M 復調装置の構成



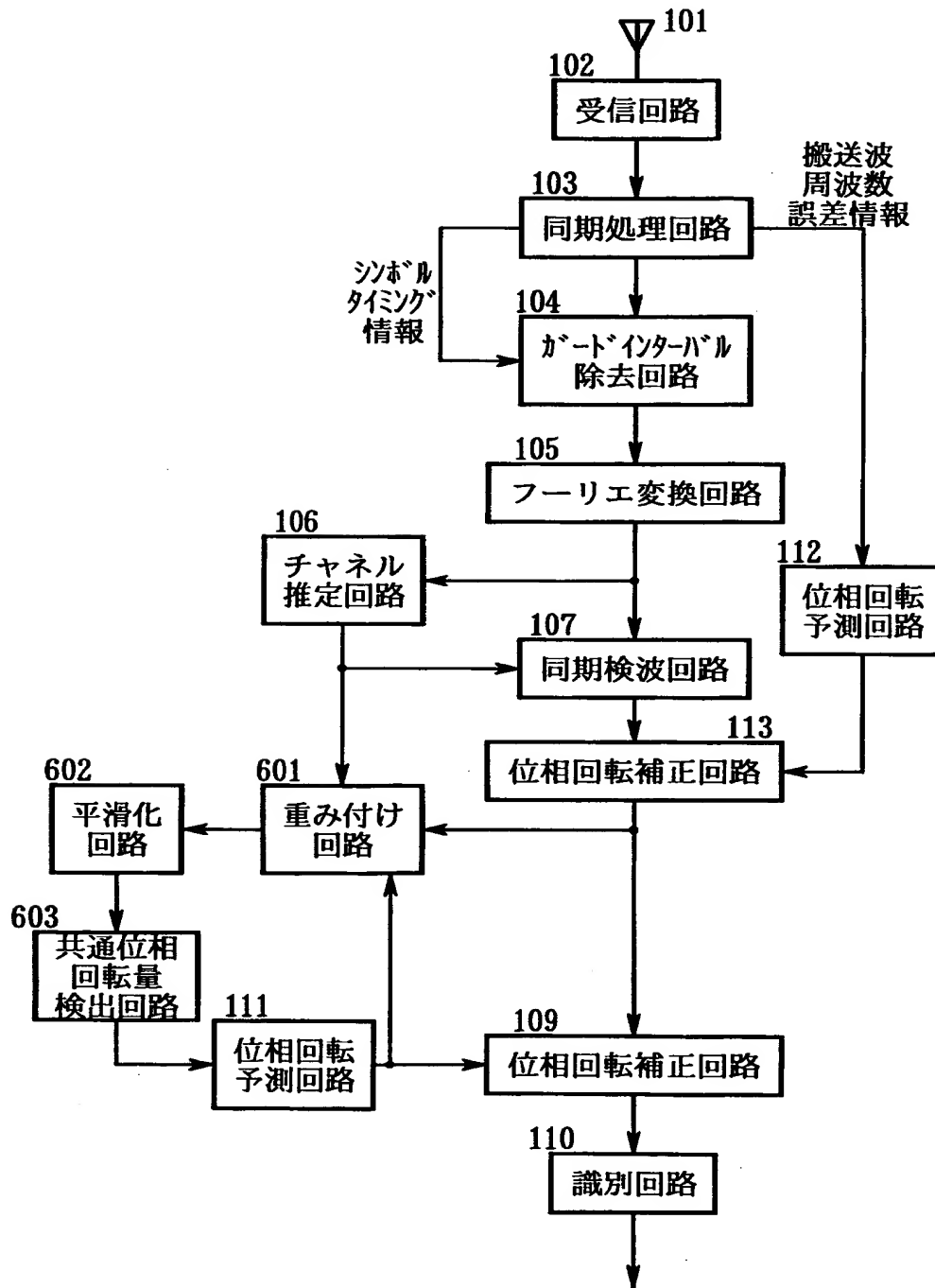
【図 5】

第 5 の実施の形態の OFDM 復調装置の構成



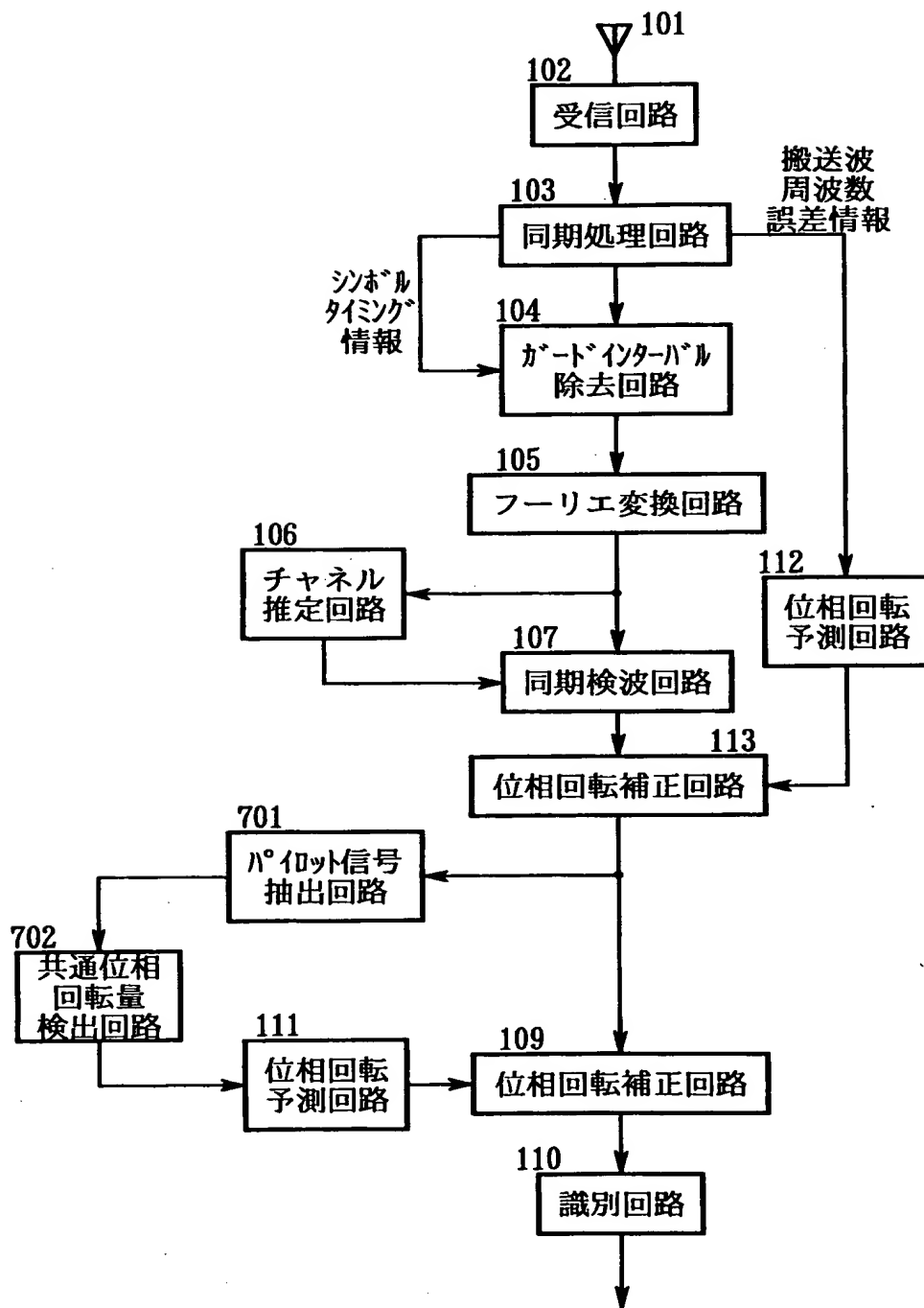
【図 6】

第 6 の実施の形態の O F D M 復調装置の構成



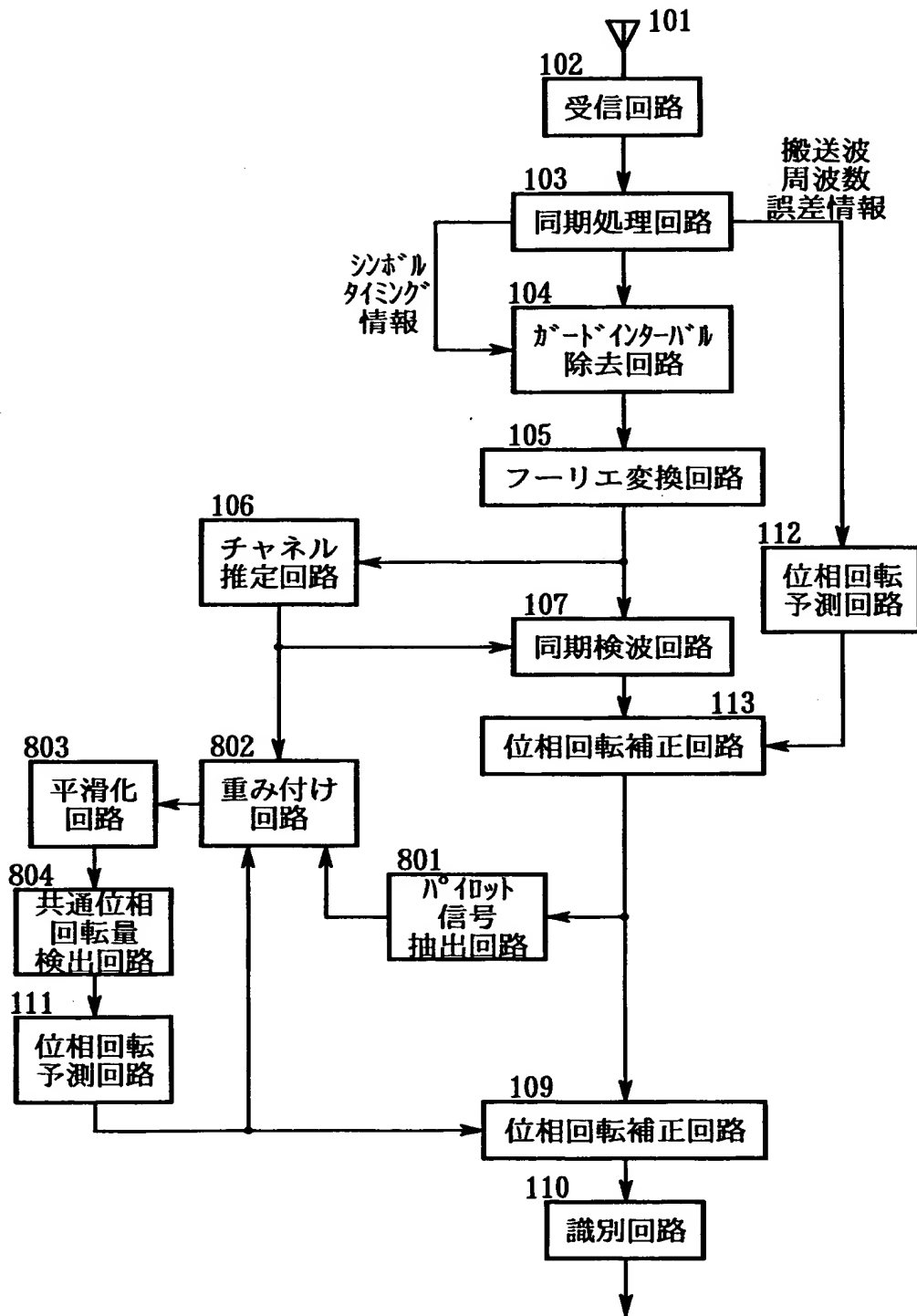
【図 7】

第 7 の実施の形態の OFDM 復調装置の構成



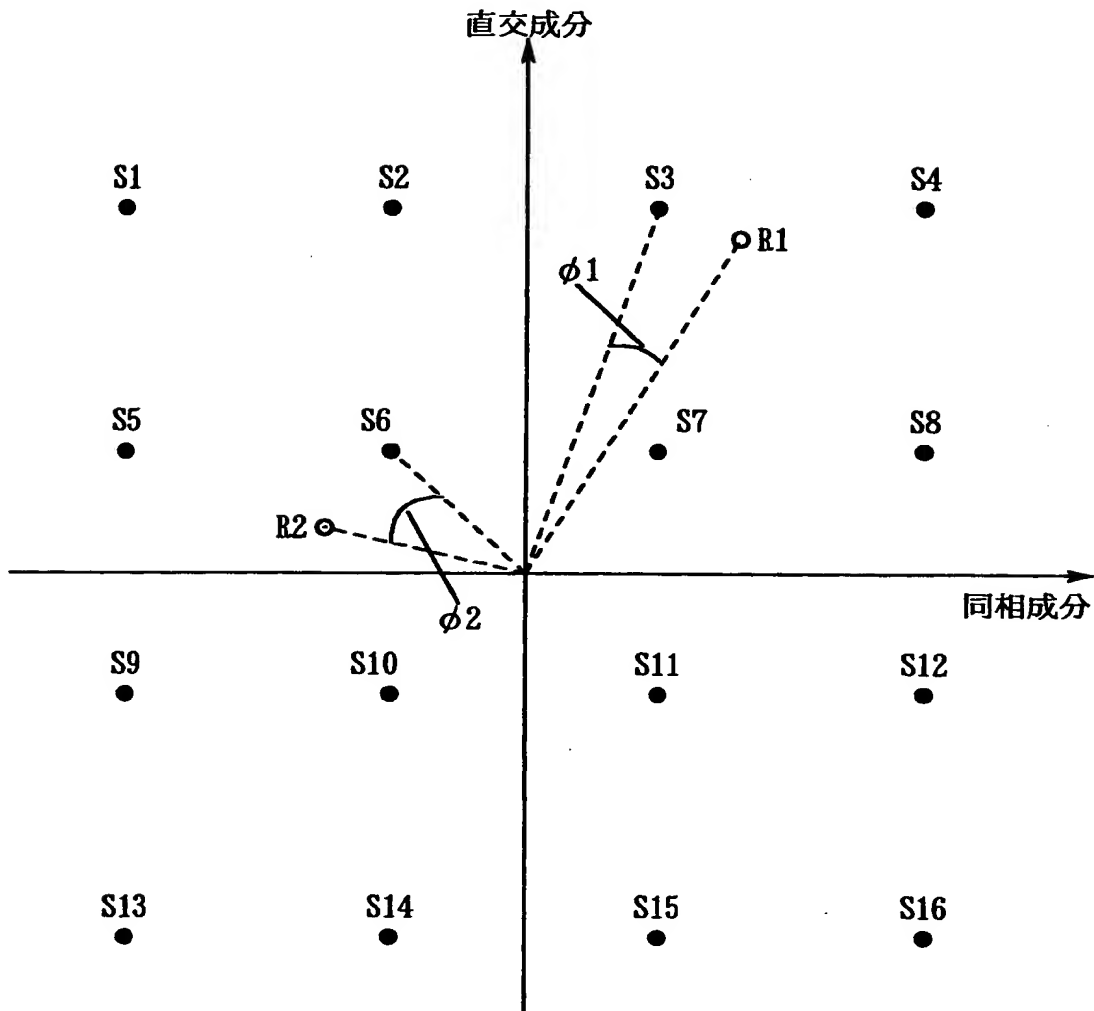
【図 8】

第 8 の実施の形態の O F D M 復調装置の構成



【図 9】

1 6 Q A M 変調の場合の信号の例

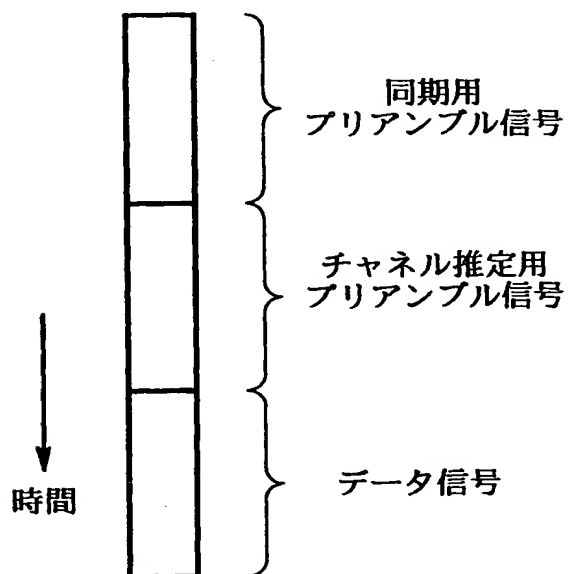


S1～S16 : 基準信号点

R1, R2 : 入力信号

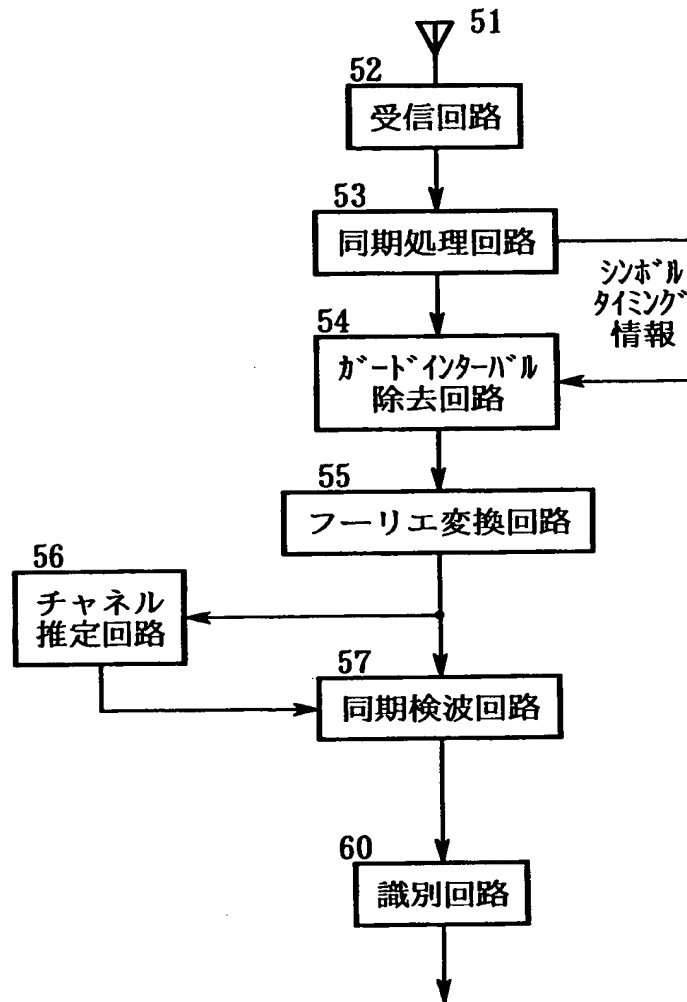
【図 1 0】

OFDM信号のバーストフォーマットの例



【図 1 1】

従来例のOFDM復調装置の構成



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 本発明はOFDM復調装置において送信側装置のクロック周波数と受信側装置のクロック周波数との間にずれが存在する場合に受信側で復調される信号の劣化を抑制するとともに回路構成の複雑化を回避することを目的とする。

【解決手段】 分離された各サブキャリア信号を用いてチャネル特性の推定を行うチャネル推定手段106とチャネル特性の推定結果を用いて等化处理および同期検波処理を行い検波信号を出力する同期検波手段107と検波信号の残留搬送波周波数誤差による位相回転量を検出する残留搬送波周波数誤差推定手段108と検出された搬送波周波数誤差と残留搬送波周波数誤差情報とに基づいて検波信号のクロック周波数誤差による位相回転量を予測する位相回転予測手段111と予測した位相回転情報に基づいて検波信号に対しクロック周波数誤差により生じる位相回転を補正する位相回転補正手段109とを設けた。

【選択図】 図1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000004226]

1. 変更年月日 1995年 9月21日
[変更理由] 住所変更
住 所 東京都新宿区西新宿三丁目19番2号
氏 名 日本電信電話株式会社
2. 変更年月日 1999年 7月15日
[変更理由] 住所変更
住 所 東京都千代田区大手町二丁目3番1号
氏 名 日本電信電話株式会社

THIS PAGE BLANK (USPTO)